

ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ
на выполнение НИОКР по конкурсу
«Старт-ИИ-1-2025»

Тема НИОКР:

**«Разработка прототипа автономной робототехнической системы
AIDA-T для интеллектуального мониторинга и диагностики
томатов в промышленных теплицах»**

Заявитель: Давиденко Сергей Александрович

Дата: август 2025 г.

Содержание

1	Цель выполнения НИОКР	3
2	Назначение научно-технического продукта	3
3	Технические требования к научно-техническому продукту	4
3.1	Основные технические параметры	4
3.1.1	Функции, выполнение которых должен обеспечивать разрабатываемый научно-технический продукт	4
3.1.2	Количественные параметры, определяющие выполнение научно-техническим продуктом своих функций	6
3.2	Конструктивные требования к научно-техническому продукту	6
3.2.1	Внешний вид и состав научно-технического продукта	6
3.2.2	Требования к конструкции и исходным компонентам	7
3.2.3	Требования к массогабаритным характеристикам научно-технического продукта	8
3.2.4	Требования к мощностным характеристикам научно-технического продукта	9
3.2.5	Требования к удельным характеристикам научно-технического продукта	9
3.2.6	Требования к программной части аппаратно-программного комплекса	9
3.2.7	Требования к условиям апробации и тестирования научно-технического продукта	10
3.3	Требования по патентной охране	11
4	Отчетность по НИОКР	12

1. Цель выполнения НИОКР

Разработать и протестировать прототип автономной робототехнической системы AIDA-T (Agrobotic Intelligent Data Analyzer for Tomatoes) с интегрированными алгоритмами искусственного интеллекта для автоматизированного мониторинга и диагностики состояния томатов в промышленных теплицах, обеспечивающей точность диагностики заболеваний не менее 85% и готовой к промышленному внедрению.

Основные научно-технические проблемы, на решение которых направлено выполнение НИОКР:

- Отсутствие мобильных робототехнических систем, способных автономно перемещаться как по бетонным покрытиям теплиц, так и по рельсовым путям между рядами растений без использования дополнительных механических приспособлений;
- Низкая точность диагностики заболеваний растений существующими автоматизированными системами (70-80%) по сравнению с экспертной оценкой агрономов (85-90%);
- Недостаточная стабильность позиционирования камерных систем на мобильных платформах ($\pm 5-10$ мм на пиксель), что снижает точность анализа изображений;
- Отсутствие комплексных решений, обеспечивающих одновременную диагностику заболеваний и оценку урожайности в едином автономном робототехническом комплексе;
- Необходимость замещения трудозатратных рутинных методов визуального контроля агрономов с обеспечением круглосуточного мониторинга состояния растений.

2. Назначение научно-технического продукта

Прототип системы AIDA-T предназначен для автоматизации процессов мониторинга и диагностики состояния томатов в промышленных теплицах путем замещения рутинных методов визуального контроля, выполняемых агрономами.

Основное функциональное назначение:

1. Круглосуточная автоматизированная диагностика фитопатологических заболеваний томатов (мучнистая роса, другие грибковые и бактериальные инфекции);
2. Автоматическая оценка урожайности и контроль созревания плодов с определением объемных характеристик;
3. Непрерывный мониторинг состояния растений на всех стадиях вегетации без участия человека;

4. Раннее выявление патологий для своевременного принятия агротехнических решений.

Области применения прототипа:

- Промышленные тепличные комплексы площадью от 1 га;
- Агротехнические комплексы закрытого грунта;
- Селекционные и научно-исследовательские центры;
- Семеноводческие хозяйства.

Целевые потребители:

- Крупные агрохолдинги и тепличные комбинаты;
- Агрономические службы предприятий;
- Фитопатологические лаборатории;
- Научно-исследовательские институты растениеводства.

3. Технические требования к научно-техническому продукту

3.1. Основные технические параметры

3.1.1. Функции, выполнение которых должен обеспечивать разрабатываемый научно-технический продукт

1. Функция автономной навигации и перемещения:

- Автоматическое движение по бетонным покрытиям теплицы с использованием механум-колес для всенаправленного перемещения;
- Самостоятельный подъем и движение по рельсовым путям между рядами культур с использованием специальных нейлоновых рельсовых колес;
- Автономное переключение между режимами движения на основе анализа типа поверхности;
- Позиционирование относительно объектов съемки с высокой точностью;
- Преодоление препятствий и адаптация к неровностям поверхности.

2. Функция визуального сканирования и съемки:

- Регулировка высоты камерной системы в широком диапазоне для съемки растений различной высоты;

- Стабилизированная съемка с адаптивной компенсацией вибраций при движении по рельсам;
- Многоракурсное сканирование растений с пересекающимися углами обзора;
- Автоматическое слияние кадров для формирования детализированного изображения высокого разрешения.

3. Функция интеллектуальной диагностики заболеваний:

- Автоматическое распознавание симптомов мучнистой росы с использованием CNN-архитектур;
- Выявление признаков грибковых и бактериальных инфекций на ранних стадиях;
- Классификация степени поражения растений с определением локализации очагов заболеваний;
- Формирование отчетов о выявленных патологиях с геопозиционной привязкой.

4. Функция оценки урожайности:

- Автоматический подсчет количества плодов на растении;
- Определение объемных характеристик плодов с использованием стереозрения;
- Оценка степени созревания томатов по цветовым и морфологическим признакам;
- Прогнозирование сроков сбора урожая на основе динамики созревания.

5. Функция сбора и обработки данных:

- Создание цифровых карт состояния посадок с временными метками;
- Формирование структурированных отчетов о выявленных проблемах;
- Ведение базы данных мониторинга по каждому растению;
- Экспорт данных для интеграции с информационными системами предприятия.

6. Функция круглосуточного автономного мониторинга:

- Непрерывная работа в автоматическом режиме без участия оператора;
- Автоматическое планирование и корректировка маршрутов обхода территории;
- Адаптация к изменяющимся условиям освещения теплицы;
- Автономное возвращение на базовую станцию для подзарядки.

3.1.2. Количественные параметры, определяющие выполнение научно-технических требований к продукту своими функциями

1. **Точность диагностики мучнистой росы:** не менее 86% при использовании CNN-модели на тестовом наборе данных объемом не менее 5000 изображений;
2. **Точность позиционирования камерной системы:** не более $\pm 1,5$ мм на пиксель при съемке в условиях движения по рельсовым путям;
3. **Погрешность оценки объема плодов:** не более 15% при использовании параллельных алгоритмов RANSAC и PointNet на плодах томатов диаметром от 40 до 100 мм;
4. **Диапазон регулировки высоты съемки:** от 0,1 до 3,0 метров с дискретностью позиционирования не более 5 см;
5. **Время автономной работы:** не менее 8 часов непрерывной работы без подзарядки при температуре окружающей среды 18-28°C;
6. **Скорость движения:** не менее 0,5 м/с по бетонному покрытию и не менее 0,3 м/с по рельсовым путям;
7. **Объем обрабатываемого датасета:** возможность обучения CNN-модели на наборах данных объемом не менее 15000 изображений с временем обучения не более 24 часов на доступном вычислительном оборудовании.

3.2. Конструктивные требования к научно-техническому продукту

3.2.1. Внешний вид и состав научно-технического продукта

Прототип системы AIDA-T представляет собой мобильную автономную платформу на четырех колесах с установленной телескопической камерной мачтой. Общие габариты: длина не более 1,2 м, ширина не более 0,8 м, высота в сложенном состоянии не более 0,6 м, в разложенном состоянии до 3,5 м.

Основные функциональные части прототипа:

1. **Мобильная платформа с гибридной ходовой системой:**
 - Четыре меканум-колеса для всенаправленного движения по бетонному покрытию;
 - Четыре выдвижных нейлоновых рельсовых колеса для движения по технологическим рельсам;
 - Система адаптивной амортизации на базе сервоприводов;
 - Бесщеточные мотор-редукторы с энкодерами для точного позиционирования.
2. **Телескопическая камерная мачта:**

- Вертикальная направляющая с линейным приводом для регулировки высоты;
- Система адаптивной стабилизации на базе гироскопов и акселерометров;
- Поворотная платформа для горизонтального позиционирования камер;
- Защитный кожух камерного модуля с пылевлагозащитой IP63.

3. Система технического зрения:

- Две промышленные Ethernet-камеры с глобальным затвором для стереозрения;
- Система светодиодной подсветки с автоматической регулировкой яркости;
- Модуль обработки изображений на базе ARM-процессора;
- Система калибровки и синхронизации камер.

4. Вычислительный модуль:

- Одноплатный компьютер с GPU для выполнения алгоритмов машинного обучения;
- Модуль беспроводной связи (Wi-Fi, 4G) для удаленного мониторинга;
- Система хранения данных на базе SSD-накопителя;
- Блок управления питанием и мониторинга заряда батареи.

5. Система электропитания:

- Литий-ионная аккумуляторная батарея напряжением 24В;
- Зарядная станция с автономной стыковкой;
- Система управления питанием с мониторингом энергопотребления;
- Блоки питания для различных подсистем (5В, 12В, 24В).

6. Программное обеспечение:

- Модуль автономной навигации на базе ROS2;
- CNN-модели для диагностики заболеваний растений;
- Алгоритмы оценки объема плодов (RANSAC и PointNet);
- Веб-интерфейс для мониторинга и управления системой.

3.2.2. Требования к конструкции и исходным компонентам

Требования к конструкции:

- Корпус платформы должен быть изготовлен из алюминиевого профиля серии 40x40 мм с соединительными элементами из нержавеющей стали;

- Камерная мачта должна обеспечивать продольную жесткость не менее 500 Н/мм для минимизации вибраций;
- Все электронные компоненты должны иметь класс защиты не ниже IP63 для работы в условиях повышенной влажности теплиц;
- Конструкция должна обеспечивать простоту обслуживания с возможностью замены основных компонентов без полной разборки системы.

Требования к исходным компонентам:

- **Меканум-колеса:** диаметр 200 ± 5 мм, материал роликов — полиуретан твердостью 85 Shore A, нагрузка на колесо не менее 25 кг;
- **Рельсовые колеса:** материал — нейлон PA6, диаметр 100 ± 2 мм, профиль под рельс сечением 30x30 мм;
- **Промышленные камеры:** разрешение не менее 5 МП, частота кадров не менее 30 fps, интерфейс Gigabit Ethernet, глобальный затвор;
- **Вычислительная платформа:** x86 или аналогичный, GPU с поддержкой CUDA, оперативная память не менее 8 ГБ;
- **Аккумуляторная батарея:** литий-ионная, номинальное напряжение 24В, емкость не менее 20 А·ч, количество циклов заряд-разряд не менее 1000.

Требования к программным компонентам:

- Операционная система: Ubuntu 22.04 LTS или новее с поддержкой ROS2;
- Фреймворки машинного обучения: PyTorch 2.0+ или TensorFlow 2.10+;
- Библиотеки компьютерного зрения: OpenCV 4.5+, PCL (Point Cloud Library);
- При разработке не будут использованы сторонние технологии, требующие дополнительной оплаты пользователем.

3.2.3. Требования к массогабаритным характеристикам научно-технического продукта

- **Общая масса прототипа:** не более 80 кг в полной комплектации;
- **Габаритные размеры платформы:** длина не более 1200 мм, ширина не более 800 мм, высота не более 600 мм (в транспортном положении);
- **Максимальная высота камерной мачты:** не более 3500 мм в рабочем положении;

- **Клиренс платформы:** не менее 50 мм для преодоления неровностей поверхности;
- **Колесная база:** не более 700 мм для обеспечения маневренности в узких проходах теплиц.

3.2.4. Требования к мощностным характеристикам научно-технического продукта

- **Общее энергопотребление системы:** не более 2000 Вт в режиме адаптивной съемки и обработки данных;
- **Потребляемая мощность приводов платформы:** не более 1000 Вт при движении по горизонтальной поверхности;
- **Потребляемая мощность вычислительного модуля:** не более 500 Вт при выполнении алгоритмов компьютерного зрения;
- **Мощность системы освещения:** не более 50 Вт при максимальной яркости светодиодных модулей;
- **Эффективность зарядной системы:** не менее 85% при зарядке аккумуляторной батареи.

3.2.5. Требования к удельным характеристикам научно-технического продукта

- **Производительность обследования:** не менее 1000 м² тепличной площади за 8 часов работы;
- **Удельное энергопотребление:** не более 2,4 Вт·ч на 1 м² обследованной площади;
- **Плотность данных:** не менее 10 изображений высокого разрешения на 1 м² для обеспечения достаточной детализации анализа;
- **Скорость обработки изображений:** не менее 5 кадров в секунду при разрешении 2592×1944 пикселей;
- **Точность навигации:** отклонение от заданного маршрута не более 50 мм при движении по рельсовым путям.

3.2.6. Требования к программной части аппаратно-программного комплекса

Требования к вычислительным ресурсам:

- Процессор: ARM Cortex-A78 с частотой не менее 2,0 ГГц или x86-64 с аналогичной производительностью;
- Оперативная память: не менее 8 ГБ DDR4 для обеспечения работы алгоритмов машинного обучения;
- Графический процессор: GPU с поддержкой CUDA и объемом видеопамати не менее 8 ГБ;
- Постоянная память: SSD-накопитель объемом не менее 1024 ГБ для хранения данных и программного обеспечения.

Требования к программному обеспечению:

- Модульная архитектура на базе ROS2 (Robot Operating System) для обеспечения взаимодействия подсистем;
- Поддержка протоколов Ethernet, Wi-Fi 802.11ac, 4G LTE для передачи данных;
- Веб-интерфейс, совместимый с браузерами Chrome, Firefox, Safari последних версий;
- API для интеграции с внешними системами управления тепличными комплексами;
- Система логирования событий и ошибок с возможностью удаленной диагностики.

3.2.7. Требования к условиям апробации и тестирования научно-технического продукта

Условия эксплуатации прототипа:

- **Температура окружающей среды:** от +10°C до +35°C (типичные условия промышленных теплиц);
- **Относительная влажность воздуха:** до 90% без конденсации для обеспечения работы электронных компонентов;
- **Освещенность:** от 500 до 50000 лк с возможностью адаптации алгоритмов к изменяющимся условиям;
- **Тип поверхности:** бетонные дорожки толщиной не менее 100 мм и металлические рельсы диаметром 50 мм;
- **Высота потолков теплицы:** не менее 4 метров для обеспечения работы съемной мачты.

Требования к испытательной площадке:

- Промышленная теплица площадью не менее 1000 м² с действующими посадками томатов;
- Наличие комбинированной инфраструктуры: бетонные дорожки шириной не менее 1,5 м и рельсовые пути между рядами растений;
- Доступ к розеткам электрической сети 220 В;
- Стабильное подключение к сети Internet для удаленного мониторинга испытаний;
- Возможность безопасного тестирования в присутствии обслуживающего персонала.

Условия проведения испытаний:

- Продолжительность испытаний: не менее 240 часов суммарного времени работы в течение 30 календарных дней;
- Режим работы: круглосуточное тестирование с периодами адаптивной съемки и обработки данных;
- Контрольные измерения: верификация результатов диагностики экспертами-агрономами на выборке не менее 500 растений;
- Сравнительный анализ: сопоставление результатов оценки урожайности с ручными измерениями на контрольной группе из 100 растений.

3.3. Требования по патентной охране

В рамках выполнения НИОКР планируется проведение следующих мероприятий по охране интеллектуальной собственности:

1. **Подача заявки на полезную модель** «Гибридная ходовая система для мобильных роботов в условиях теплиц» — срок подачи до 6 месяца выполнения НИОКР;
2. **Подача заявки на полезную модель** «Камерная мачта с адаптивной стабилизацией для мобильных систем технического зрения» — срок подачи до 8 месяца выполнения НИОКР;
3. **Регистрация программы для ЭВМ** по алгоритмам диагностики заболеваний растений на базе CNN-архитектур — срок подачи до 10 месяца выполнения НИОКР;
4. **Рассмотрение возможности патентования** способа гибридной оценки объема плодов с использованием параллельных алгоритмов RANSAC и PointNet — решение принимается до 9 месяца выполнения НИОКР на основе результатов патентного поиска;

5. **Проведение патентного поиска** в области автономных систем мониторинга растений для подтверждения новизны технических решений — завершение до 3 месяца выполнения НИОКР.

Все мероприятия по патентной охране будут выполняться с привлечением патентного поверенного для обеспечения высокого качества заявочных материалов и защиты интересов правообладателя.

4. **Отчетность по НИОКР**

По результатам выполнения НИОКР будет предоставлена следующая техническая документация:

Научно-технические отчеты:

- Отчет о проведенных исследованиях и разработках;
- Отчет о результатах испытаний прототипа в полевых условиях;
- Отчет о патентных исследованиях и охране интеллектуальной собственности.

Эскизная конструкторская документация на прототип:

- Сборочные чертежи мобильной платформы и камерной мачты;
- Спецификации на основные узлы и компоненты системы;
- Схемы электрические принципиальные системы управления и питания;
- Чертежи основных оригинальных узлов (гибридная ходовая система, камерная мачта);
- Схемы функциональные программно-аппаратного комплекса.

Программная документация:

- Алгоритмы работы программных модулей системы навигации и технического зрения;
- Описание программного обеспечения с архитектурой системы;
- Техническое задание на программное обеспечение;
- Инструкция для пользователя по эксплуатации системы AIDA-T;
- Инструкция для системного администратора по установке и настройке ПО.

Документация по испытаниям:

- Программа и методики испытаний прототипа в лабораторных условиях;

- Программа и методики полевых испытаний в условиях промышленной теплицы;
- Протоколы испытаний функциональных характеристик системы;
- Протоколы испытаний точности диагностики заболеваний с экспертной верификацией;
- Протоколы испытаний точности оценки урожайности с контрольными измерениями;
- Сравнительный анализ результатов с существующими методами контроля.

Разработчик проекта технического задания:

Давиденко Сергей Александрович